

# 対称配置素子空中線

大 高 庄 右 衛 門

工 学 部 電 気 工 学 科

## 緒 言

$\lambda$  (波長) が極く短い cm 波, mm 波等では輻射ビームに指向性をもたせたり鋭くしたりするために電磁ホーンとか反射鏡とか電波レンズとかを用いるが m 波程度の波では普通は略  $\lambda/2$  の長さの多数の直線素子を並行に配置して, それらの長さや励振位相等によつて投射用, 導波用又は反射用とし, これらを適当に組合せて所要波形のビームを得ている。そしてビームをある方向に向けるためには空中線全体を機械的にその方向に回わしている。

鋭いビームを作ろうとすると, どうしても素子の数が多くなり構造が複雑になる。そして波長が長くなると空中線は甚しく膨大のものとなり, ビーム移動の目的で空中線を機械的に動かすことは至難事か又は不可能事になる。更に走査回転数を多くして毎秒数十, 数百又はそれ以上とする場合には機械的回転は全く不可能になる。

今空中線の主体は固定して, それに附属する励振分配装置即ゴニオメータによつてビームを移動せしめ得れば上述の難問題は解決する。この場合の必要条件は (a) 空中線はビーム移動の面内では対称構造のものであること (b) ゴニオメータは損失少く且所要の速度に応じ得るものであることである。

本文は以上の内 (a) の空中線についてだけ述べ (b) については述べない。(b) については後日発表する機会があれば幸である。本研究について読者諸氏から充分なる御叱正を仰ぎ得れば幸甚である。

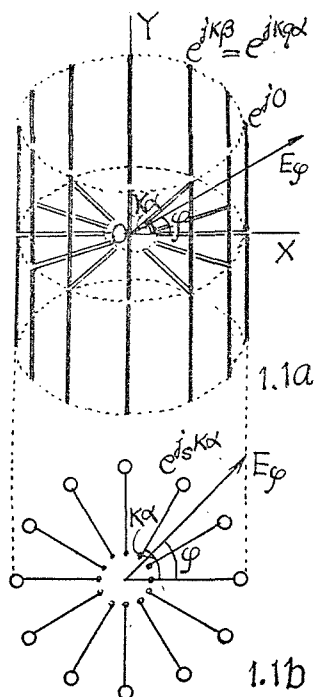
## 第1節 王冠空中線

### 1.1 王冠空中線<sup>1-20,40</sup>

1.1a 図のように多数の垂直素子を等間隔で円壘形に配置し王冠に似た構成の空中線を云う。普通素子の長さは  $\lambda/2$  ( $\lambda$ =波長) とする。

素子の励振は 1.1b 図のような輻状給電線によつて行うが空中線の中心を含み素子に直角な面内で輻射ビームを全方向に移動させたい時は給電線の中央集結部にコイル, スイッチ又はコンデンサゴニオメータをとりつけ, ゴニオメータの回転子によつてビームを移動させることができる。

素子の数は多相空中線とする時は相数の整数倍 (普通は



相数に等しくする)とし単相空中線の時はビームを鋭くするために16とか24とかとし後述のように位相補正を行う。

### (1) 等振幅王冠

素子の励振振幅の等しいものを云う。  $r$ =配置半径,  $m=2\pi/\lambda$ ,  $\alpha=\beta=2\pi/n$ ,  $n$ =相数とすると等振幅であるから指向特性  $D_\varphi$  は素子の初期位相と位置による位相とだけを考えればよい。故に

$$D_\varphi = \sum e^{j[mr \cos(k\alpha - \varphi) + k\beta]} = \sum e^{j[mr \cos(k\alpha - \varphi) + k\alpha]} \quad (1.1.1)$$

相数が非常に多く従つて連続素子と見てよい時には

$$D_\varphi = -2\pi J_1(mr) e^{j\varphi} \quad (1.1.2)$$

全素子が同相励振の時は(1.1.1)式中の  $\beta=0$  とおけばよいから上式は次式に変わる。

$$D_{\varphi(\beta=0)} = j2\pi J_0(mr) \quad (1.1.3)$$

上式から次のことが分る。(1.1.1)式から  $mr$  が大でない限り  $D_\varphi$  は相数だけの主軸をもつ即3相なら3弁, 5相なら5弁の特性である。相数が非常に多いか単相の時は(1.1.2)及(1.1.3)両式から無指向になることが分る。

### (2) 位相補正王冠

鋭い単指向ビームを得る目的で輻射波面を描えるよう位相補正を行うものを云う。このためには第  $k$  番目の素子に対して  $e^{jmr(1-\cos k\alpha)}$  なる割合の位相補正を行えばよい。この時の計算は(1.1.1)式中の  $k\beta$  の代りに  $mr(1-\cos k\alpha)$  を用いればよい。

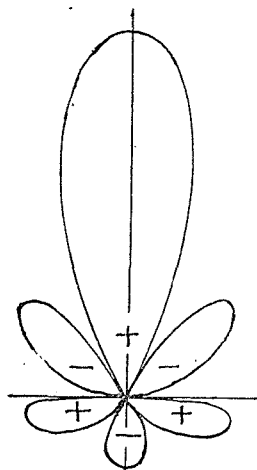
$$D_\varphi = \sum e^{jmr[\cos(k\alpha - \varphi) + (1 - \cos k\alpha)]} \quad (1.1.4)$$

素子数が相当に多く(略16以上)になると次式で  $D_\varphi$  を与え得る。

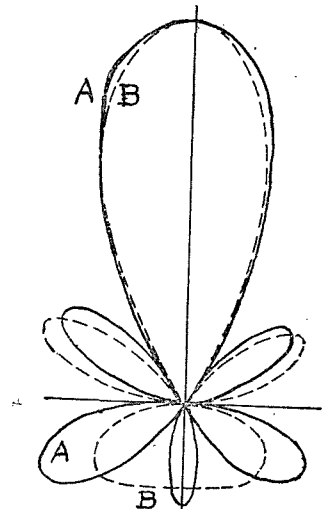
$$D_\varphi = \int_0^{2\pi} e^{jmr[\cos(\alpha - \varphi) + (1 - \cos \alpha)]} d\alpha = 2\pi J_0(2mrsin\frac{1}{2}\varphi) e^{jmr} \quad (1.1.5)$$

この方法で相当に鋭い単指向性を得る。1.1c 及 d 図はその例である。素子の数は多い程良いが同時に配置半径を増さないとビームは鋭くならない。1.1e 図は16素子で半径  $r$  を変える時の  $D_\varphi$  の変化を示す図である。

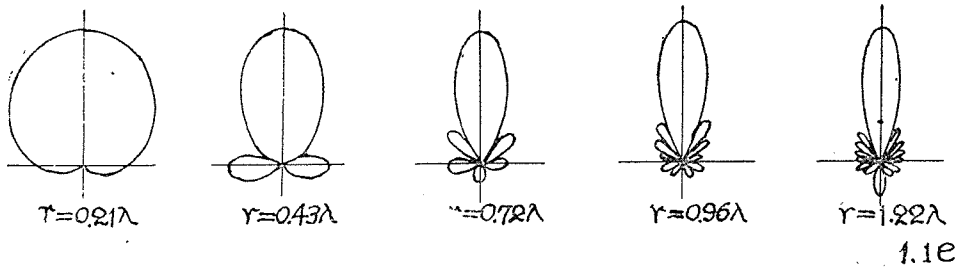
本空中線については水橋東作氏が詳しく計算し且実験を行つている。位相補正は給電幅の長さで行い、振幅はトラップを加減して割各容易に目的を達し得る。



$mr=942, r=3\lambda/4$   
單王冠空中線 1.1c



A  $r=30(m), f=6190(kc/s)$   
 $2mr=7.77, 16$ 素子実測  
水橋(19-3-0)  
B  $J_0(7.77sin\frac{\varphi}{2})$ の計算曲線  
 $r/\lambda=0.62$  1.1d



### 1.22 重王冠空中線<sup>12, 13, 17-19</sup>

大小2つの王冠を 1.2a, b 及 c 図のように例えば同軸として (a) 外側を投射 (P) 用, 内側を反射 (R) にする。 (b) 外側を導波 (D) 用, 内側を投射 (P) 用にする。又 (c) 偏軸として王冠間の距離を主方向は導波, 逆方向は反射となるように選ぶものを云う。

その他種々の組合せが考えられるが要するに八木・宇田空中線の幾組かを輻状に配置したものと考えればよい。

#### (1) 同軸等振幅2重王冠

主方向を中心として空中線素子全体の総合効果を計算しないと完全ではないが概略計算としては 1.2d 図のように主方向の投射素子  $P_0$  を中心として投射素子  $P_1, P_1'$  及反射素子  $R_0, R_0'$  間の作用だけを一応考えてみる。

$P_0$  を基準とて反射素子には  $e^{j\beta}$  なる初期位相を与えて主方向はビームの強さが2, 逆方向は0とすると

$$e^{jmr_1} + e^{j(mr_2 \cos\alpha + \beta)} = 2 \quad (a)$$

$$e^{jmr_1} + e^{-j(mr_2 \cos\alpha - \beta)} = 0 \quad (b)$$

次に横方向のビームを0とすると

$$1 + e^{jmr_1 \sin 2\alpha} = 0 \quad (c)$$

$$1 + e^{j(mr_2 \sin\alpha + \beta)} = 0 \quad (d)$$

$$e^{jmr_1 \sin 2\alpha} + e^{j(mr_2 \sin\alpha + \beta)} = 0 \quad (e)$$

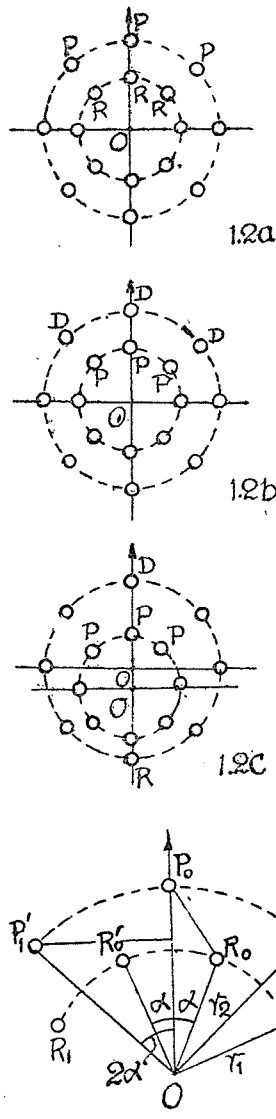
なる条件を満たさねばならない。然し以上全部を成立させることはできない。上式中  $\alpha$  は素子の数から定まり (d) と (e) とは素子の数が多いと略成立するから, 何れか一方だけを探ればよい。(c) と (d) 又は (e) とは同時に成立しない。今

素子の数を12従つて  $\alpha = \pi/12$  として3つの場合を計算すると次表になる。

	$r_1/\lambda$	$r_2/\lambda$	$\beta$
(a) (b) (c) から	1.000	0.258	$3\pi/2$ (270°)
(a) (b) (d) から	0.683	0.258	$\sqrt{3}\pi/2$ (156°)
(a) (b) (e) から	0.634	0.258	$0.768\pi$ (138°)

#### (2) 同軸位相補正2重王冠

ビームを鋭くするだけならば 1.1 (2) の位相補正王

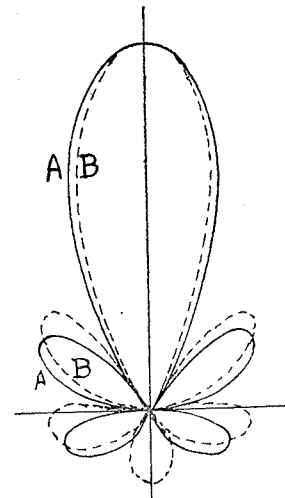


冠だけでよい。2重王冠の目的は後方ビームを0とし更に副ビームをできるだけ小さくするにある。

単王冠としては各(1.1.5)式による条件が成立するもの2ヶを組合せるとして、その比強度を  $a$ 、位相差角を  $\delta$  とすると  $2\pi$  を省いて

$$D_{\varphi} = J_0(2mr_1 \sin \frac{1}{2} \varphi) e^{jmr_1} + aJ_0(2mr_2 \sin \frac{1}{2} \varphi) e^{j(mr_2 + \delta)} \quad (1.2.1)$$

例えば  $D_{\varphi=\pi}=0$  とするためには  $J_0(2mr_1)$  と  $J_0(2mr_2)$  とが同符号の時は  $\delta = m(r_1 - r_2) - \pi$ ;  $J_0(2mr_1) = aJ_0(2mr_2)$  になる。既出の単王冠  $mr = 9.42$ ,  $r = 3\lambda/4$  (1.1c図) を例にとると  $J_0(9.42) = -0.182$ ;  $J_0(4.99) = -0.181$ ;  $J_0(2.80) = -1.85$  であるから  $a = 1$  とすると  $r_2 = 0.397\lambda$  なら  $\delta = 47^\circ$ ,  $r_2 = 0.223\lambda$  なら  $\delta = 200^\circ$  として  $D_{\varphi=\pi} = 0$  となし得る。又  $r_2 = \lambda/4$  にとると  $J_0(3.14) = -0.304$  であるから  $a = 0.6$  になる。次に  $J_0(2mr_1)$  と  $J_0(2mr_2)$  とが異符号の時は  $\delta = m(r_1 - r_2)$  になる。故に  $r_2 = 0.635\lambda$  にとると  $J_0(7.96) = 0.181$  であるから  $a = 1, \delta = 41.4^\circ$  になる。1.2e 図参照。



A  $r_1 = 0.75\lambda$  と  $r_2 = 0.635\lambda$  とを合成した2重王冠の  $D_{\varphi}$   
B  $r = 0.75\lambda$  の単王冠の  $D_{\varphi}$

1.2e

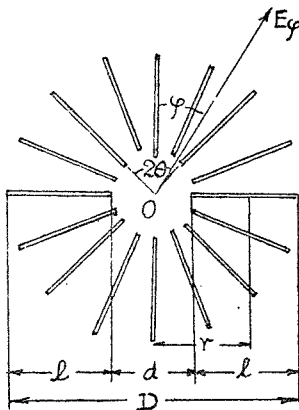
(3) その他の王冠以上の他偏軸2重王冠が考えられるが、実質的には前節と大差が無く特に偏軸とする利点はない。

次に波源となる王冠と制御素子とを組合せたもの又は制御を行う王冠と波源素子とを組合せたものが考えられるが、これ等はビーム移動を目的としたもので機械的回転に便利であるところが利点で鋭いビームを得るためには特記する程のことはない<sup>12</sup>。

## 第2節 旭系その他空中線

### 2.1 旭空中線<sup>37-40</sup>

主として旧国際電気通信 KK 技術研究所で研究せられたもので 2.1a 図の星状素子空中線に対し同所が命名したものである。



2.1a

素子の励振は星状素子の中央集結部にゴオメータ等を設けて素子端から給電する。素子の数は多相空中線の時は相数の整数倍(普通は相数に等しい)とするが単相空中線の時はビームを鋭くするため相当に多くする。

$r$  = 配置半径,  $m = 2\pi/\lambda$ ,  $\alpha = \beta = 2\pi/n$ ,  $n$  = 相数とすると等振幅励振の時は

$$D_{\varphi} = \sum e^{j[mr \cos(k\alpha - \varphi) + k\alpha]} \cos \left[ \frac{1}{2} \pi \cos(k\alpha - \varphi) \right] / \sin(k\alpha - \varphi) \quad (2.1.1)$$

素子の数が増えて連続素子と考え得れば

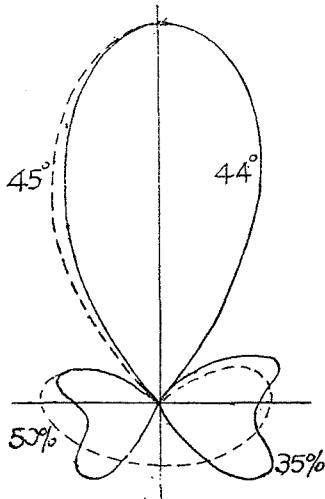
$$D_{\varphi} = -\pi [J_0(mr) + J_2(mr)] s^{j\varphi} \quad (2.1.2)$$

全素子同相励振の時は  $\beta = 0$  であるから

$$D_\varphi = 0 \quad (2.1.3)$$

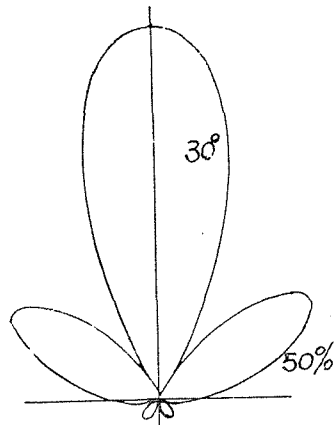
即素子の数が非常に多くなると多相励振では無指向，単相励振では無輻射になる。故に鋭い単指向ビームを得るためには振幅補正を行う。中央正面の素子の振幅を 1 とし左右のものを  $\sin q\alpha$  の割分で変化させると

$$\begin{aligned} {}_qD_\varphi &= \int_0^{2\pi} \sin q\alpha \sin(\alpha - \varphi) e^{jmr \cos(\alpha - \varphi)} d\alpha \\ &= \pi j^{q-1} [J_{q-1}(mr) + J_{q+1}(mr)] \cos q\varphi \end{aligned} \quad (2.1.4)$$



1/2素子旭空中線  
実線  $\lambda = 2m$ ,  $n = 16$  本の  
実測  $D_\varphi$  口際電通(19-6-0)  
点線  $mr = 1.6$  としての限度  $D_\varphi$

2.1b



3/4素子旭空中線  
 $mr = 3$  の限度  $D_\varphi$  2.1c

$q = 1, 2, \dots$  として合成すれば理論上如何なる波形のビームも得られる筈であるが実際は  $J_{q-1}(mr) + J_{q+1}(mr) = 0$  となる第  $q$  調波迄しか合成できない。 $mr$  が大きい程  $q$  も多くなり得るから希望に近い波形が得られる。

$mr$	1	2	3	4	5
$q_{max}$	5	6	7	8~9	9~10

上表は  $mr$  の値と，とり得る  $q$  の数とを示したもので例えば  $mr = 2$  ならば  $q$  は第 7 調波迄を合成し得ることを意味する。

本空中線の総合指向特性は

$$D_\varphi = \sum j^{q-1} [J_{q-1}(mr) + J_{q+1}(mr)] \cos q\varphi \quad (2.1.4)$$

2.1b 図は実験結果と計算値とを比較するものであるが，本実験の空中線素子は長さが  $\lambda/2$  であるから，中央部に若干の余地を残すとして  $mr = 1.6$  として上式によつて計算すると

$$D_\varphi = \cos \varphi + 0.90 \cos 2\varphi + 0.38 \cos 3\varphi + 0.11 \cos 4\varphi + 0.02 \cos 5\varphi$$

になる。但し位相は各調波順に  $j$  ずつ違うが，これは一応実験的に実回路では除き得るも

のとした。図を見ると主極は略合致するが副極が違っている。これは実回路は 16 素子であるが計算では無数素子としたからである。

国際電気通信の実験は  $\lambda=2$  (m);  $n=16$ ;  $\alpha=30^\circ$ ,  $D=225$  (cm) で利得は 7 (db) であつた。尚等波長で小型とするために  $D=70\sim90$  (cm) とすると利得は 1.6 (db) に減じ主極は  $\varphi=\pi$  即逆方向に生じた。

2.1c 図は  $3\lambda/4$  素子で  $mr=3$  の場合を (2.1.4) 式によつて位相差を無視して計算したものを示す。

## 2.2 多角空中線<sup>4,40</sup>

水平素子を正多角形に配置し右図のように幅状給電線 (F) で励振するものを云う。素子数  $N$ , 素子長  $l$ , 配置半径  $r$ , 給電角  $2\theta$  及給電素子数  $m$  によつて大抵  $D_\varphi$  が定まるが  $\alpha=\beta$  の時の多相空中線で等振幅励振の時は

$$D_\varphi = \sum e^{j[mr \cos(K\alpha - \varphi) + K\alpha]} \cos[\frac{1}{2}\pi \sin(K\alpha - \varphi)] / \cos(K\alpha - \varphi) \quad (2.2.1)$$

素子の数が多く連続素子と見得る時は

$$D_\varphi = \pi [J_0(mr) - J_2(mr)] e^{j\varphi} \quad (2.2.2)$$

同相励振の時は  $\beta=0$  であるから

$$D_\varphi = j 2\pi J_1(mr) \quad (2.2.3)$$

何れも無指向である。

これを単指向とするために正面素子の振幅を 1 として左右の素子の振幅を  $\cos q\alpha$  の割合に変化させると

$$D_\varphi = \int_0^{2\pi} \cos q\alpha \cos(\alpha - \varphi) e^{jmr \cos(\alpha - \varphi)} d\alpha = \pi j^{q-1} [J_{q-1}(mr) - J_{q+1}(mr)] \cos q\varphi \quad (2.2.4)$$

$q=1, 2, \dots$  として合成すればよい。但し実際には  $J_{q-1}(mr) - J_{q+1}(mr) = 0$  の程度しか合成できない。

合成限度は大抵次の通りである。

$mr$	1	2	3	4	5
$q_{max}$	5	6	7	8	9~10

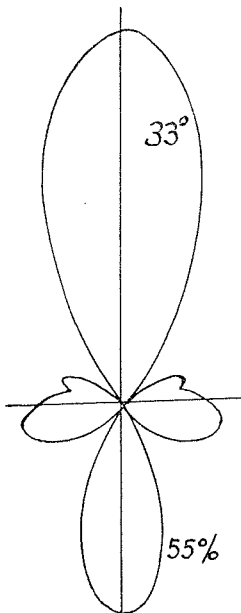
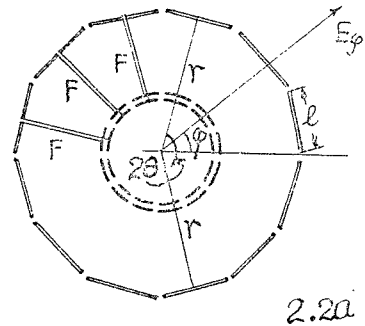
今  $mr=3$  とすると  $\lambda/2$  素子の時は  $N=12$  となつて稍不足であるが上式が成立するものとし又調波毎の位相差  $j$  を除き得るものとして第 6 調波迄採ると次式になり 2.2b 図の形になる。

$$D_\varphi = -\cos \varphi + 0.07 \cos 2\varphi + 0.50 \cos 3\varphi + 0.39 \cos 4\varphi + 0.17 \cos 5\varphi + 0.06 \cos 6\varphi$$

実測結果は  $D_{\varphi=\pi}$  が計算値より少いが、他は大體等しい。

本空中線は (a) 段積みの時高さが比較的 low くてよいこと

(b) 内側に反射素子、外側に導波素子で組んだ多角形を同軸に設置して  $D_{\varphi=\pi}=0$  とし得ること (c) 空中線全体を強固に構成し得ること等の利点があるが同時に (a)  $N$  が等

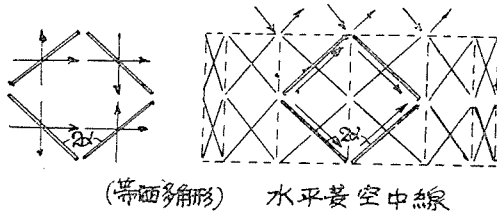


$\lambda/2$  素子多角形空中線  
 $mr=3$  の限度  $D_\varphi$

2.2b

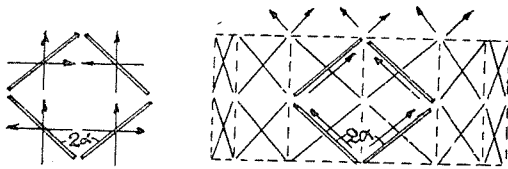
しい時は他の空中線より占有面積が大であり、このことは  $N$  が増す程甚だしくなること  
(b)  $N$  と  $r$  とが一定比で増減して自由度が少いこと等の欠点がある。

要するに本空中線は格別の特長がない。筆者等は  $\lambda=2$  (m),  $N=12$ , 4段積のものについて種々実験を重ねたが記す程の成果を得なかつた。(小林, 平山, 昭和19—20年)



(等価多角形) 水平菱空中線

2.3a



(等価王冠) 垂直菱空中線

2.3b

### 2.3 菱空中線<sup>21-25</sup>

筆者が考案提唱した空中線で実用化研究を一番進めたものである。なるべく多数の素子になるべく相互結合の少いように円筒状に配置したもので素子が右図のように互に交叉しているので交叉空中線とも呼ぶ。

給電方法によつて 2.3a 図のように等価多角形にも又 2.3b 図のように等価王冠にもなる。

菱1単位は2段積と等価である。 $\lambda/2$  素子を使用する時1交叉について以下の機能をもち得る。

(a) 水平素子(等価多角形)として  $2(\lambda/2) \sin \alpha$  の値, 長さとしては  $(\lambda/2) \sin \alpha$  となり円周上の素子全数は  $N=2 \times 2\pi r / (\lambda/2) \sin \alpha = 4\pi r / \sin \alpha$  になる。従つて  $\lambda/2$  水平素子の時と比較して全一半径で  $2/\sin \alpha$  倍の素子を配置し得る。

(b) 垂直素子(等価王冠)として  $2(\lambda/2) \cos \alpha$  の値, 高さとしては  $(\lambda/2) \cos \alpha$  となり, 段積みの高さを  $h$  とすると素子全数は  $M=4h/\lambda \cos \alpha$  になる。従つて  $\lambda/2$  垂直素子の時と比較して同一高さで  $2/\cos \alpha$  倍だけ段積みができる。

本空中線の利点は (a) 所与空間に対して, より多くの素子を配列し得ることによつて無限素子数の時の式が, より近似的に成立し, かくて設計を容易にすること (b) 直径従つて  $mr$  を与えて, これに任意数  $N$  を割り当て得ること等である。然し後者の場合所要素子に対する  $\sin \alpha$  又は  $\cos \alpha$  が急激に減ずる  $\alpha$  とすることは避けねばならない。本空中線の指向特性は次式で与えられる。

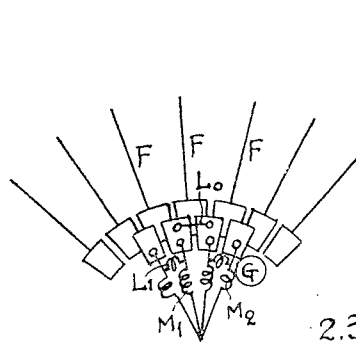
水平菱(等価多角形)

$${}_R D_\varphi = \pi \sum_{j=1}^{q-1} [J_{q-1}(mr) - J_{q+1}(mr)] \cos q\varphi \quad (2.3.1)$$

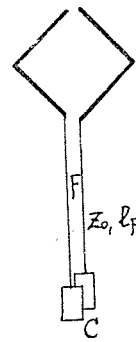
垂直菱(等価王冠)

$${}_V D_\varphi = \pi \sum_{j=1}^q J_q(mr) \cos q\varphi \quad (2.3.2)$$

上式中  $q$ =調波次数で  $q=1, 2, \dots$  として合成する。各調波間の位相差は実験によつて適当に除く。

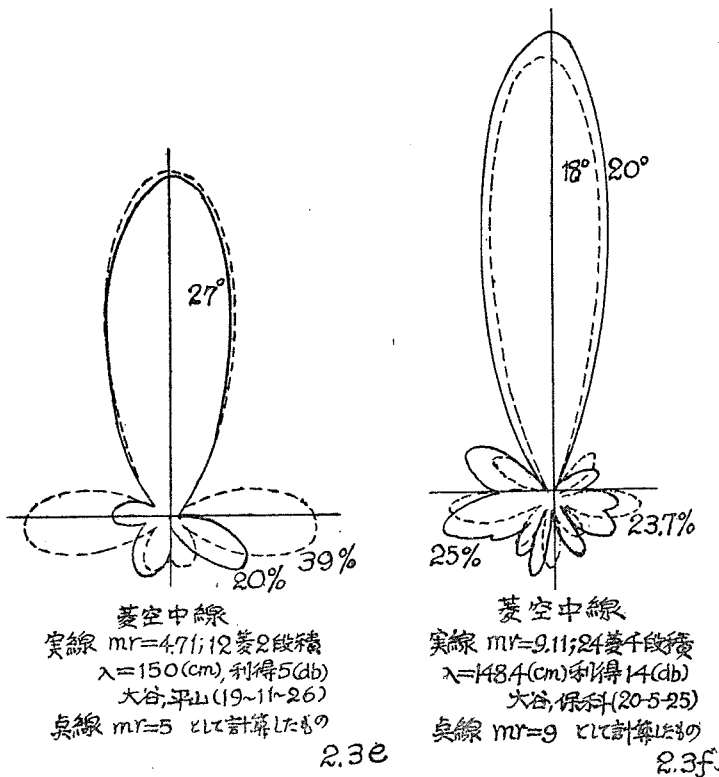


2.3c



2.3d

2.3c 図は本空中線のビームを水平全方向に移動させる時使用すべき静電ゴニオメータ G の原理を示すものである。G は固定子片と可動子片(この例では4枚)とから成立し、可動子片は図示の如く移相用コイルとして片間に  $L_0$  及  $L_1$ , 各片は  $M_1$  及  $M_2$  を有している。これらの長さはビームの形を非常に左右するので適当に選ばねばならない。例えば  $\lambda \simeq 150$  (cm), 24 素子に対して  $L_0=10$ ,  $L_1=15 \sim 24$ ,  $M_1=17 \sim 23$ ,  $M_2=10$  (cm) で実験した処主極幅は  $24^\circ \sim 31^\circ$ , 副極値は  $20.5 \sim 26.9\%$  の間を変化し最良値は  $L_1=18$ ,  $M_1=20$  (cm) の時で主極幅  $24^\circ$ , 副極値  $20.5\%$  であった。



移相用コイルには進行波が乗るものとして計算すると中央素子と両側素子との位相差は

$$ml = 2\pi L_1 (M_1 - M_2) / \lambda (L_1 + M_1 - M_2) \simeq 15.4^\circ \quad (2.3.3)$$

となり、これは丁度  $\cos \alpha = \cos (2\pi/24) = \cos 15^\circ$  の  $15^\circ$  だけ進めることに一致する。

2.3e 図及 2.3f 図は計算値と実験値とを比較した例である。

尚給電幅 F (2.3d 図) の長さ  $l_F$  も  $D_\phi$  を左右する。無給電の時素子から見て F

は無限大インピーダンスとなるようにしてあればよい。F 先端のゴニオメータ固定子片間容量を C, F の波動インピーダンスを  $Z_0$  とすると

$$\begin{aligned} Z_F &= Z_0 (\cos ml_F / j \omega C + j Z_0 \sin ml_F) / (Z_0 \cos ml_F + \sin ml_F / j \omega C) \\ &= -j Z_0 \cot (ml_F + \theta) \\ \theta &= \tan^{-1} \omega C Z_0 \end{aligned} \quad (2.3.4)$$

$ml_F + \theta = K\pi$  の時  $Z_F = \infty$  になるから、このように  $l_F$  と C とを選ばばよい。

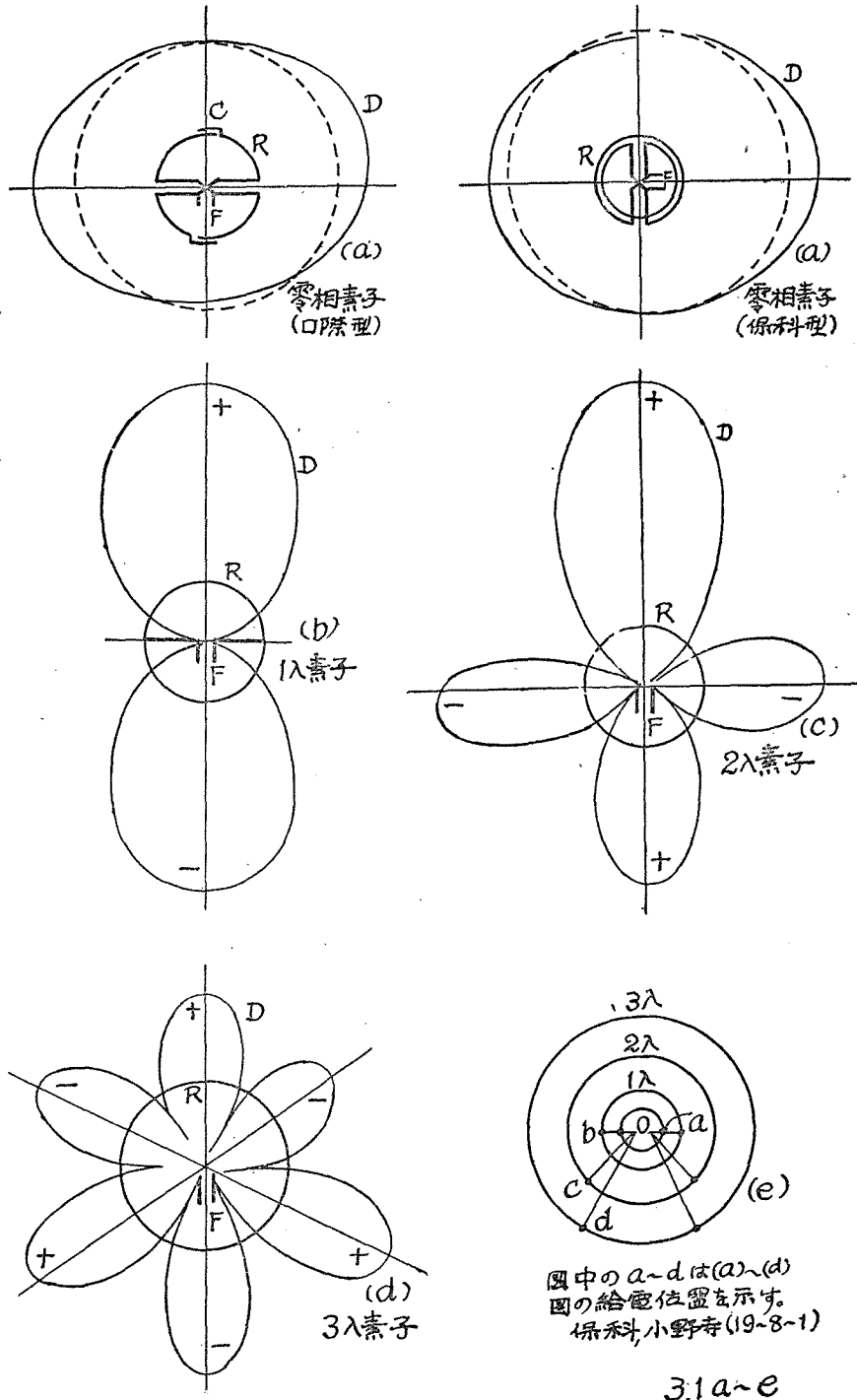
本空中線は既述の如く筆者が創案し大谷, 長谷川, 保科等の同僚諸君が熱心に実験研究を進めたものであるが、實用直前に終戦のため撤去となつたことは残念である。

規格は  $\lambda=6$  (m); 24 菱 4 段積; 利得 15 (db); 尖頭出力 110 (kw) で昭和 20 年横浜根岸競馬場に建設した。2.3f 図は  $\lambda=150$  (cm) に設計したモデル空中線の実験結果である。



### 第3節 円環系空中線

#### 3.1 定在波円環空中線<sup>19-20, 26-27, 31-32</sup>



円環の周長  $2\pi r$  が波長  $\lambda$  の整数倍で,  $mr=K$  が整数となり環上に励振電流が余弦波分布をなす空中線を云う。  $q$ =調波次数とすると指向特性は

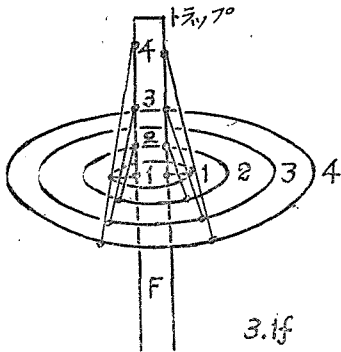
$$D_\varphi = \pi j^{Kq-1} [J_{Kq-1}(K) - J_{Kq+1}(K)] \cos(Kq\varphi) = 2\pi j^{Kq-1} J'_{Kq}(K) \cos(Kq\varphi) \quad (3.1.1)$$

$D_\varphi$  の振幅は  $J'$  で定まり, 主極数即  $D_\varphi$  の弁数は  $2Kq$  で与えられ弁は順次+-を繰り返すこと 3.1a~d 図の通りである。従つて  $K$  の違う円環数ケを合成して単指向とすることができる。但し合成を行うのに次の2つの方法が考えられる。(1) 基本波だけを使用し  $K$  を変えて合成する。この時は数ケの円環を要するが基本波だけであるから受波側の装置は簡単となり実用価値のあるものである。(2) 基本波に対して  $K=1$  の円環1ケを用い  $q$  を変えて歪波励振を行うものである。この方法は空中線の構成は簡単であるが波源は周波数選倍を行つて所要数の調波を得て歪波を作らねばならない。受波側では周波数弁別を行うを要し非実用的である。以下(1)の方法についてだけ述べる。

この時は  $q=1$  であるから

$$D_\varphi = 2\pi j^{K-1} J'_K(K) \cos(K\varphi) \quad (3.1.2)$$

3.1b~d 図は  $q=1$ ,  $K=1, 2, 3$  の実験例であるが, 3.1a 図は  $K=0$  即零相分で正又は負の無指向素子の実験例である。国際型は電流給電とし半円素子の終端を容量短絡して電



流分布を均等にしようとしたものであるが中々完全な円指向を得難い。保科型は電圧給電とし  $\cos \frac{1}{2} \varphi + j \sin \frac{1}{2} \varphi = e^{j \frac{1}{2} \varphi}$  を実現するよう考案したもので円指向を得易い。尙前者の半径は  $K=1$  のものと大差が無いが後者はその  $1/2$  である点も合成上都合がよい。

$K$  の違う円環を合成する時 3.1e 図のように給電幅を中央に集結するため幅の長さの差異によつて生ずる位相乱れ並に  $K$  が違うため当然輻射インピーダンスが違い, このための励振乱れを補正しなければならない。3.1 f 図は中屋氏の考案のもので上述の目的を巧

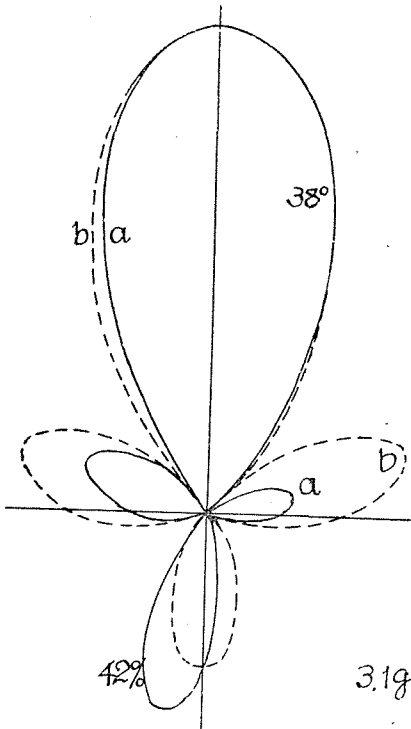
みに達成するものである。例えば  $\lambda=2$  (m) に対して  $F$  のタップ間の長さは  $\sqrt{12}=5, \sqrt{28}=9, \sqrt{34}=10$  (cm) 程度になる。整合の時  $K$  が大きいもの程輻射抵抗が大きくなるからトラップの長さを  $< \lambda/4$  とすると上例の長さは逆のように思えるが  $K$  の大きいものは輻射が大きいので整合を外して振幅と位相とを合成に適するように制御するものと考え方が正しいようである。

舟橋氏の計算によると本空中線の輻射抵抗  $R_K$  及同リアクタンス  $X_K$  は次式になる。

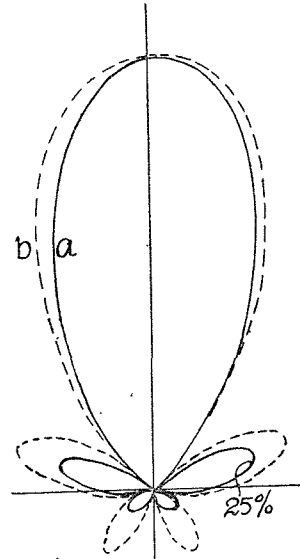
$$\left. \begin{aligned} R_K &= 30\pi^2 Kq [J_{2Kq-1}(2Kq) - J_{2Kq+1}(2Kq)] \\ X_K &= 30\pi^2 Kq [F_{2Kq-1}(2Kq) - F_{2Kq+1}(2Kq)] < 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.1.3)$$

$$F_n(x) = (1/\pi) \left\{ J_0(x) \left[ \frac{1}{n} \right] + J_2(x) \left[ \frac{1}{n+2} + \frac{1}{n-2} \right] + J_4(x) \left[ \frac{1}{n+4} + \frac{1}{n-4} \right] + \dots \right\}$$

進行波円環の時の  $R_K$ ,  $X_K$  は上式の値の2倍になる。 $X_K$  は負値であつて直線素子の時と反対である。共振長は直線素子の時は約 6% 短くなるが円環素子では長くしなければならない。例えば  $K=4$  の円環は実験では  $K'=4.25=1.06K$  になつた。



合成円環空中線 ( $k=1, 2 \text{ 及 } 3$ )  
 $a. \lambda=150(\text{cm})$  実験値 保科・小野寺  
 $(19-8-1)$   
 $b. D_\varphi = \cos\varphi + \cos 2\varphi + \cos 3\varphi$  の計算値



合成円環空中線 ( $k=0, 1, 2 \text{ 及 } 3$ )  
 $a. \lambda=150(\text{cm})$  実験値 保科・小野寺  
 $(19-8-1)$   
 $b. D_\varphi = 0.5 + \cos\varphi + \cos 2\varphi + \cos 3\varphi$  の計算値  
 3.1h

本空中線は元海軍技術研究所で提案せられ中屋，長井，保科，小野寺諸氏が実験を進めたものである。舟橋氏の計算によると  $K=6$  の合成円環の利得は 1 段で 8.7 (db), 2 段積で 11.2 (db), 4 段積みで 14.5 (db) になる。3.1 g 及 h 図は実験例である。

### 3.2 進行波円環空中線<sup>35-36</sup>

進行波励振を行う円環空中線である。この素子の長さは整合終止の時は任意の長さでよいが  $e^{j\beta K\alpha}$  の位置に対し  $e^{\pm j m \alpha}$ ,  $\alpha=2\pi/n$  の多相励振を行う時は  $m r = p \lambda$  の時は共振し  $m r = (2p+1) \lambda/2$  の時は反共振する。但し  $p=1, 2, \dots$  必要なのは共振であるから  $m r = K$  ( $K=1, 2, \dots$ ) となり，その指向特性は

$$D_{\varphi+} = 2\pi j^{Kq-1} J'_K(K) e^{jKq\varphi} \quad (3.2.1)$$

位相回転が逆の時は

$$D_{\varphi-} = 2\pi j^{Kq-1} J'_K(K) e^{-jKq\varphi} \quad (3.2.2)$$

になるが何れにしても無指向である。

今  $D_{\varphi+}$  を基準にとつて  $D_{\varphi-}$  の初期位相が  $2\beta$  である時に両者を合成すると

$$D_\varphi = D_{\varphi+} + D_{\varphi-} = 4\pi j^{Kq-1} J'_K(K) e^{j\beta} \cos(Kq\varphi - \beta) \quad (3.2.3)$$

即定在波円環になる。 $D_\varphi$  は  $Kq\varphi = \beta$  の時最大になるから  $\beta$  を変化すると主極は  $\varphi = \beta/Kq$  の方向に向く。かくして  $\beta$  を変えることによつて電氣的にビームの方向を自由に変えることができる。但しこの時の  $D_\varphi$  は  $2Kq$  弁のものであるから単指向とするには前節

に述べたように数組の円環を合成せねばならない。従つて前節の時の2倍の数の円環を必要とするので実用的でない。K=1の円環2ヶで電氣的にビームの方向を変えとか又はTV等でK>1としてビームの高速移動が優先条件で単指向は必要でない時とかには本空中線は有利であろう。

### 3.3 分円空中線<sup>37</sup>

ビームの回転を目的として国際電気通信kkで研究命名したものである。右図に示す如き円又は直線素子の空中線では

$$D_{\varphi} = c \cos(K\alpha - \varphi) + j_s \sin(K\alpha - \varphi) \\ = e^{j_s(K\alpha - \varphi)} \quad (3.3.1)$$

なる指向特性を有し  $\cos(K\alpha - \varphi)$  を担当する部分と  $\sin(K\alpha - \varphi)$  を担当する部分とがある。 $\alpha$  を操作して  $K\alpha = \varphi$  となるようにしてビームを  $\varphi$  方向に向けるゴオメータを附帯している。

円環は3.1で述べたように  $D_{\varphi}$  は2K弁のものである。即円周を2K分して1弁が占めるので分円と名づけ、これを拡張して円環に限らず輻状直線素子のもので同じような  $D_{\varphi}$  をもつ時はこれをも含めて分円空中線と呼んでいる。

尚以上の分担がなくても2K弁のものをも2K分円と云っているが、これは円環空中線に属せしむべきである。

本空中線で単指向を得るには全く3.1の円環と同様の方針で行えばよい。3.3d図は  $\lambda = 2(m)$  を用い K=1 のものと K=2 のものについての実験例である。C は cosine, S は sine の部分を示す。

### 3.4 車空中線<sup>29-30</sup>

円環素子と輻状素子(旭素子)とからなり、3.4a図のように車輪状をなすので車空中線と云う。旭素子の配置径は略円環半径 r の 1/2 である。従つて素子の数が相当に多い時は  $mr=K$  として(2.1.4)式に従つて

$${}_s D_{\varphi} = \pi j^{q-1} [J_{q-1}(\frac{1}{2}K) + J_{q+1}(\frac{1}{2}K)] \cos q\varphi \quad (3.4.1)$$

次に円環素子は(3.1.2)式から

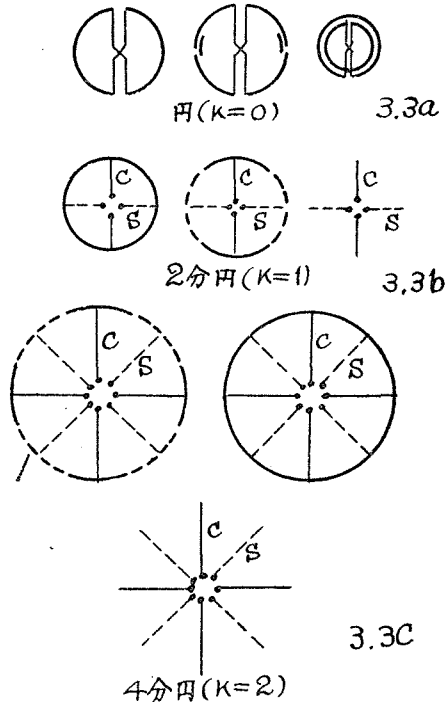
$${}_R D_{\varphi} = 2\pi j^{K-1} [J_{K-1}(K) - J_{K+1}(K)] \cos K\varphi \quad (3.4.2)$$

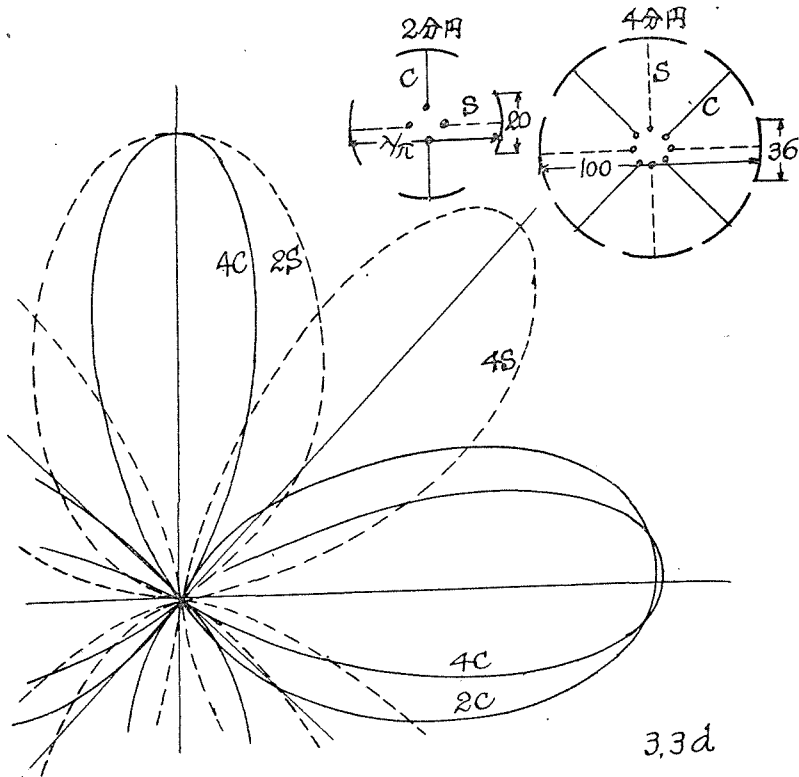
旭素子の方は円環上の電流分布の関係から  $q=K$  と制約せられる部分がある。この部分は円環から逆に励振せられる。この比振幅を a とすると

$${}_s D'_{\varphi} = a\pi j^{K-1} [J_{K-1}(\frac{1}{2}K) + J_{K+1}(\frac{1}{2}K)] \cos K\varphi \quad (3.4.3)$$

以上を合成したものが本空中線の  $D_{\varphi}$  になる。

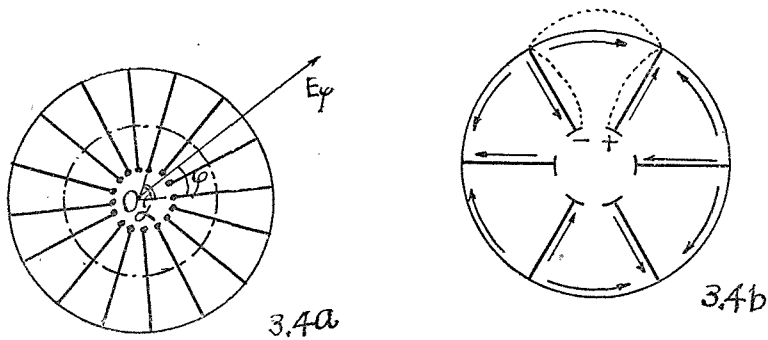
$$D_{\varphi} = {}_R D_{\varphi} + {}_s D'_{\varphi} + {}_s D_{\varphi} \quad (3.4.4)$$





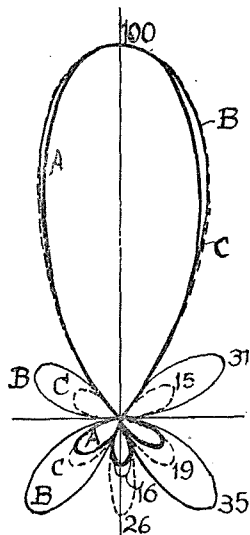
$\lambda = 200(\text{cm})$  □ 際電通 (19-2-0)

その後(19-5-22)の実験では素子先端に錨をつける。  
波形がねじれるので長さ  $\lambda/2$  の直線素子にかえた。



3.4b 図に示す如く円環素子と旭素子との電流分布が互に制約し合うために  $D_\phi = 0$  の方向に主極を生じ側方は弱いことが考えられるが実験も亦このことを立証する。3.4c 図は  $K=4$  即  $4\lambda$  車空中線の  $D_\phi$  について実験値と計算値との比較を示す。

以上は旭素子の数を無限とした時であるから有限数の旭素子の時と若干違うのは当然であるが主極は良く合っている。故に車空中線は円環空中線と旭空中線とを合成したものと考えてよい。



4λ 串空中線

A(実線)  $\lambda=188$  (cm) 実測  $D_\phi$   
 B(細実線)  $D_\phi = \cos 4\phi + 1.17 \cos 2\phi + 0.57 \cos 3\phi + \cos 4\phi$   
 C(破線)  $D_\phi =$  上の  $D_\phi$  に 0.5 を加えたもの

3.4C

上式の旭素子は定在波素子としたが進行波素子の時は様子が違ってくるから実験上注意を要する。

本空中線は上述のように円環素子と旭素子との合成であつて  $K=mr=1, 2, \dots$  と整数値なるを要し、又旭素子の長さは  $l_F = p\lambda/4$  ( $p=1, 2, \dots$ ) であることを要するため次の処置をとる。

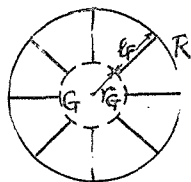
(a)  $r=l_F+r_G$ ,  $r_G=g$  オメガ半径において  $r < \lambda/2$  の時は  $l_F \simeq \lambda/4$ ,  $r > \lambda/2$  の時は  $l_F \simeq \lambda/2$  とするために  $r_G$  を加減する。

(b)  $r \geq \lambda/2$  で  $l_F \simeq \lambda/2$  とするには  $r_G$  の寸法が不適當となる時は 3.4d 及 e 図のように種々工夫をする。

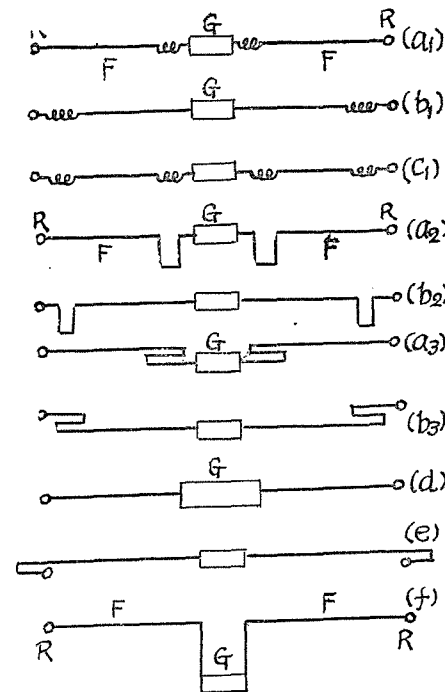
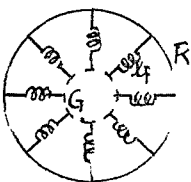
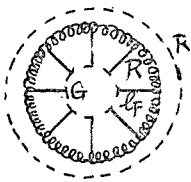
本空中線は後述の鼓空中線と共に筆者等が最も多く力を入れて研究したものの一つであるから少しく詳細に実験結果を述べる。

(1) 給電角  $\alpha_G$  と  $D_\phi$  (3.4f 及 g 図)

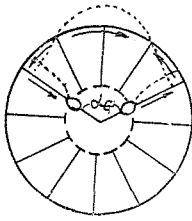
実験結果では  $\alpha_G = 2\pi/K = \lambda/r$  (rad.) が適當のようである。これより  $\alpha_G$  が小さいと



3.4a



3.4e

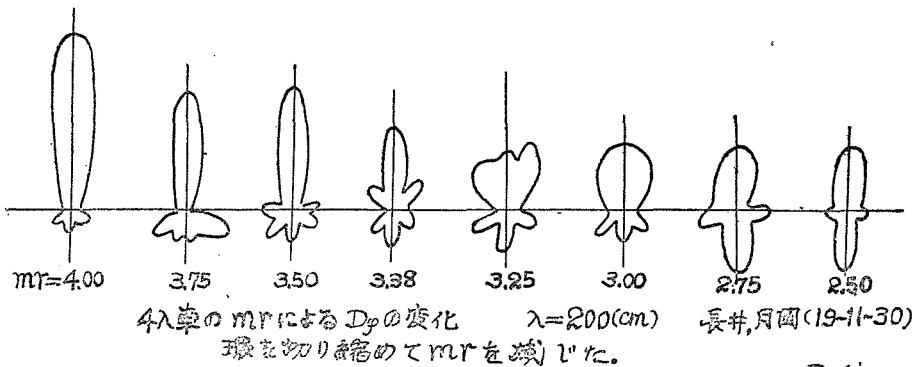
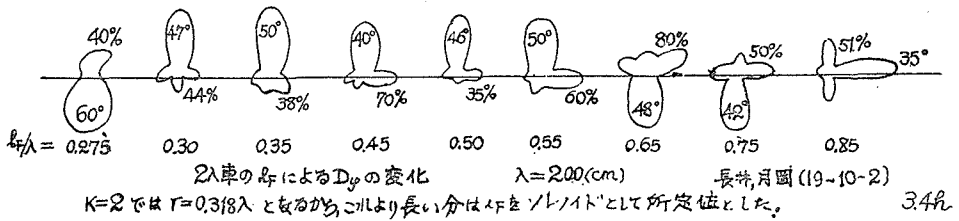
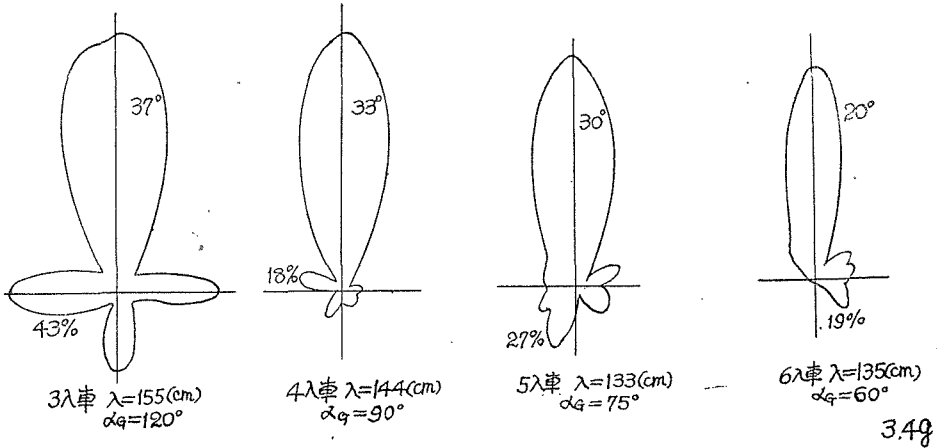


3.4f

大体としてビームは鋭くなるが副極が増し又利得も減ずる。又これより  $\alpha_g$  が増すとビームは鈍になり又後方ビームも増す。3.4g 図は  $K$  と  $\alpha_g = 360^\circ/K$  とを変えた時の本空中線の実験例である。

(2) 給電幅の長さ  $l_F$  と  $D_\phi$  (3.4h 図)

実験結果では  $l_F$  は  $\lambda/4$  の整数倍特に  $\lambda/2$  の整数倍の時に結果が良い。3.4h 図は  $K=2$  の空中線について  $l_F$  をソレノイドとして種々変える時の  $D_\phi$  の変化を示す実験例である。 $l_F$  によって  $D_\phi$  が著しく変化することが分る。この実験(車1段)では利得は -7



~-3 db 平均 -4.5 (db) であつた。

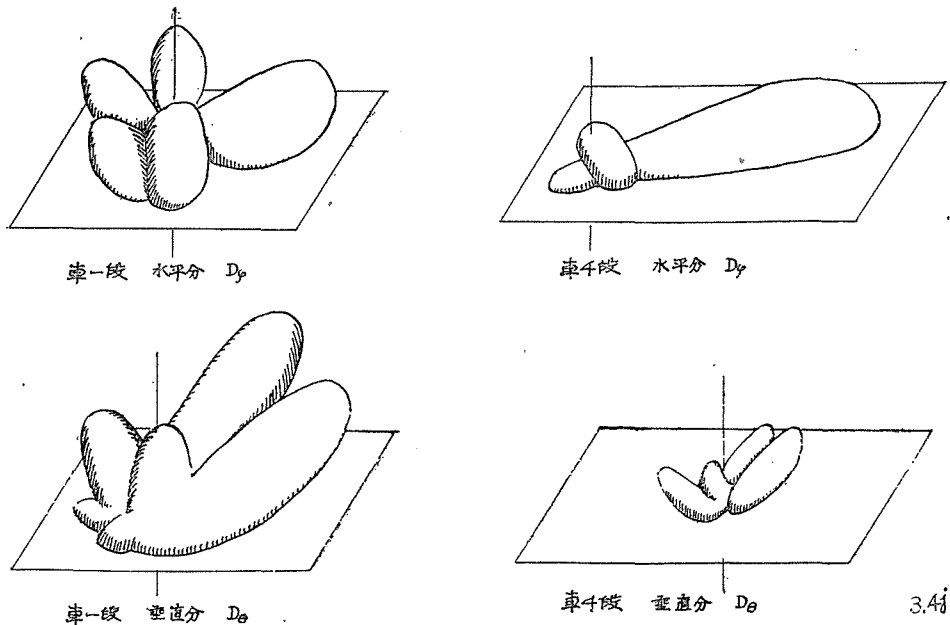
(3)  $mr=K$  と  $D_\phi$

$K$  は整数であることが望ましい。今円環の一部を切りすて乍ら縮めて  $D_\phi$  を求めると

3.4i 図の例のように  $D_\phi$  は著しく変化し  $K=4$  の時が最良である。利得は車1段で $-8 \sim -2$  (db) 平均は大体 $-4.5$  (db) であつた。(2列1段反射器付  $\lambda/2$  素子空中線の利得を 0 db とする) 3.4j 図は  $K=4$  の車空中線の水平面内及垂直面内の指向特性  $D_\phi$  及  $D_\theta$  の実験例である。段積によつて  $D_\theta$  分の強さを著しく減じ得ることが判る。尚段積みについては次節を参照のこと。

### 3.5 鼓空中線<sup>33-34</sup>

車空中線2ケを1組とし 3.5a 図のように旭素子を鼓狀に張つたものを云い、保科正吉氏の創案になるものである。車空中線の垂直面内輻射を除くため段積みしたものと等価である。ビームを水平面内で全方向に移動させるためのゴニオメータの取り付け位置によつ



て 3.5c 図のように給電が直列又は並列或は直並列になるので直列鼓とか並列鼓とかと命名する。

鼓両端の円環素子の間隔は  $\lambda/2$  であることを要するが、輻狀に張ると素子が適値より短くなる時例えば  $K=2$  の車空中線では  $r/\lambda=0.318$ ,  $r < \lambda/2$  であるから旭素子は円錐狀に環外部に引き出すことが必要になる。即鼓の半分を作ることになるから、このような車2ケを1組として鼓空中線を作れば1石2鳥的效果を収め得る。

段積みの模様と所要の給電線 (F) の長さ及ビームを移動させるためのゴニオメータ (G) の筒数とについては 3.5b 及 c 図にこれを示した。直列鼓 (S) が最 F が短かく G は1.ケで済み簡単でよいようであるが並列鼓 (P) の方が周波数安定度が高く  $\lambda=200$  (cm) を中心として  $185 \sim 212$  (cm) 略  $\pm 6.5\%$  間は殆んど  $D_\phi$  が変らず広帯域性を有する。これは周知の双円錐空中線の特長の一部を旭素子が受持つためであろう。3.5d 及 e 図は実験例を示したものである。



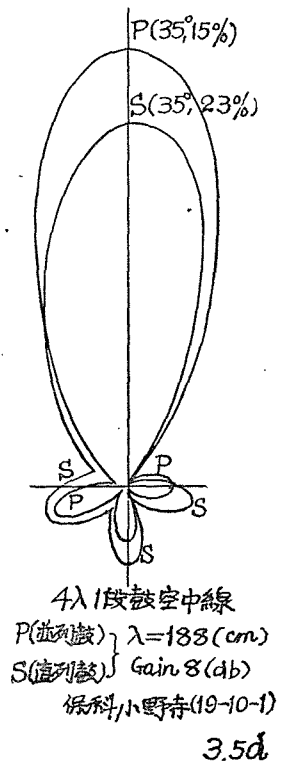
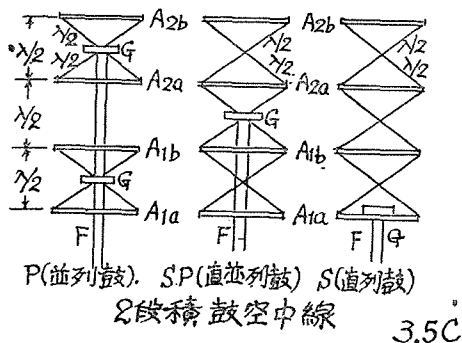
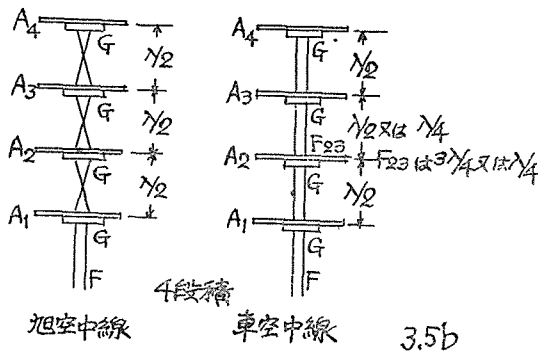
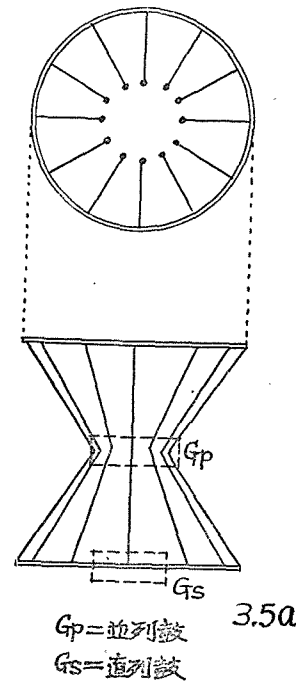
旭素子数 24,  $\alpha_G=90^\circ$  で  $2r_G=20$  (cm) のコンデンサゴニオメータを使用し  $\lambda=188$  (cm) でビームを水平面内全方向に円滑に移動させ得た。エコー試験の結果利得は鼓 1 ケで 9 (db) 2 段で 10~11 (db) であつた。

#### 第 4 節 そ の 他

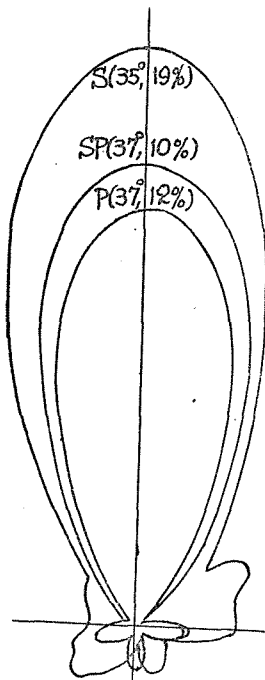
##### 4.1 各種空中線の比較

筆者等の実験は  $\lambda=150\sim 200$  (cm) 程度の超短波について行つたものである。各種空中線の比較をなすに際して 2 列 2 段反射器付  $\lambda/2$  素子空中線を標準にとつて、これの利得を 9 (db) とする。

次に波長  $\lambda$  を単位にとつて  $V$ =空中線の占有空間 ( $\lambda^3$ ),  $G_s=G/V$  (db/ $\lambda^3$ )=固有利得とする。更に  $\alpha_M$ =主極幅 ( $^\circ$ ),  $\alpha_{Ms}$ =空中線の正面幅を  $\lambda$  とする時に生ずべき主極幅 ( $^\circ\lambda$ ) として比較を行うことにする。尙この時標準空中線は  $\alpha_M=48^\circ$  とし,  $w$ =正面幅, 円の時  $w=2r$ ,  $h$ =高さ,  $d$ =奥行, 円の時  $d=2r$ ,  $V$ =体積= $whd$ , 円錐の時  $\pi(\frac{1}{2}w)(\frac{1}{2}d)h=\pi r^2 h$ ,  $n$ =素子数, 鼓の時旭素子数, 菱の時菱の数, 従つてこれの 4 倍が直線素子数になる。

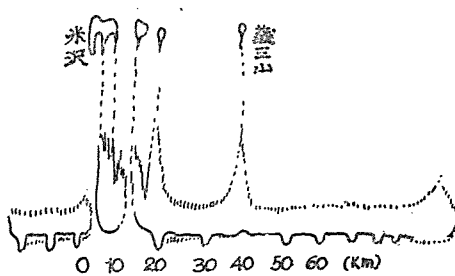


種類	G	$G_s$	$\alpha_M$	$\alpha_{MS}$	$\lambda$ (cm)	w	h	d	v	n
標準	9	14.0	48	48	150	1.0	0.5	0.5	0.25	8
王冠	12	12.6	36	54	150	1.5	0.5	1.5	0.88	24
旭	3 (+3)	9.2	44	48	200	1.1	(0.5)	1.1	0.48	32
円環	8 (+3)	13.0	38	48	150	1.8	(0.5)	1.3	0.63	8
鼓	10.5	12.5	37	47	200	1.3	0.5	1.3	0.63	48
菱	6	4.6	23	35	150	1.5	0.8	1.5	1.4	12
菱	8	4.5	25	50	200	2.0	0.7	2.0	2.2	16
菱	14	1.3	18~20	52~58	149	2.9	2.8	2.9	18.7	96

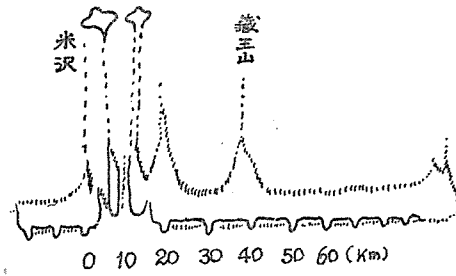


4λ/2 段 鼓 空中線  
 P(並列鼓)  $\lambda=203(\text{cm})(11\text{db})$   
 SP(直並列鼓)  $\lambda=200(\text{cm})$   
 S(直列鼓)  $\lambda=196(\text{cm})$   
 保科小野寺(1940.1)

3.5e



2λ/2 段 2 列 (9db) ( $\lambda=150\text{cm}$ ) 4.1a



合成円環 ( $K=1,2,3,4$ ) 2 段 (8db) ( $\lambda=150\text{cm}$ ) 4.1c

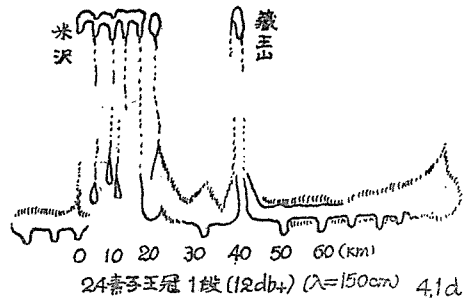
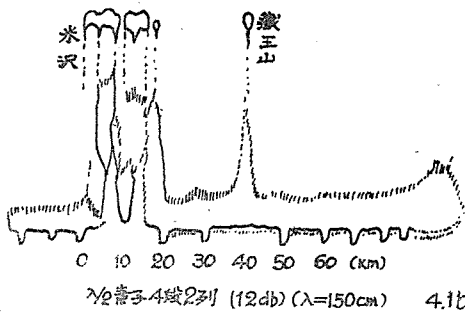
上表によれば標準空中線が一番  $G_s$  が良く、 $\alpha_{MS}$  は特別のものを除いては大体として何れも同程度になっている。 $\alpha_M$  を小さくすると、どうしても  $G_s$  が低下する。

上表中標準空中線と円環空中線とを除いては何れも輻状給電線によつて励振する構成となるので給電輻の中央集結部にゴニオメータを設けて回転子によつて励振すれば容易にビームを水平面内全方向に移動することができる。空中線全体を回転することは毎秒数十回転の高速度は難事でもあり不可能でもあるが、ゴニオ回転子によれば、この程度の回転は容易である。

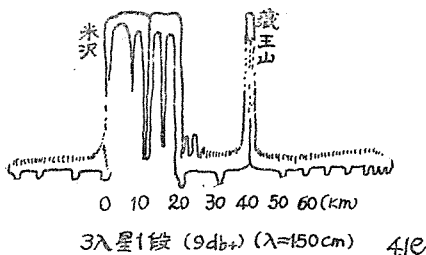
空中線の主体を固定してビームだけをゴニオメータによつて移動し得るならば空中線の占有体積が少々大きくなつても総利得が大きくビームが鋭い方が望ましい。又周波数安定度が高く広帯域性をもち機械的に構造が堅牢で寒暖風雨雪等によつて狂いを生じないことを要する。

旭、車入鼓等の空中線は輻状素子が給電と輻射とを兼ね構造も簡潔であることが長所である。然し極めて鋭いビームを作り得ないこと及任意に素子の励振状態を変え得ないこと等は短所である。

王冠、菱等の空中線は素子数と配置半径とを増減すれば略設計通りのビームを作り得ることが利点であるが給電輻が素子数に比例して混雑してくる。この欠点は  $\lambda/2$  縦横列素子空中線でも同様であるから欠点と云う程でもあるまい。



筆者等の経験からは船舶用等には車及鼓空中線が適し、特に利得が大でビームが鋭いことを望む陸上用等には王冠及菱空中線が適するように思われる。



各種空中線の  $D_\phi$  については既に本文中で述べ又形大紀要 I. 第1号多相電気振動概論<sup>40</sup> 中にも述べたから省略して radar として使用した時のグラウン管像の参考例を 4.1 a~e 図に示した。これらは昭和19年8月に米沢から蔵王山を見た実験結果である。4.1 e

図は形大紀要 I. 第2号超高周波の研究について<sup>41</sup> 中に記載の星空中線の一つによる実験例である。このエコー試験の結果からは王冠及 8λ 星空中線が radar 用として優秀と認められる。車及鼓空中線は塔上に釣り上げ作業中に落下して破壊した等の事故でエコー試験を行い得なかつた。

## 4.2 測定上の注意

### (1) 周波数特性

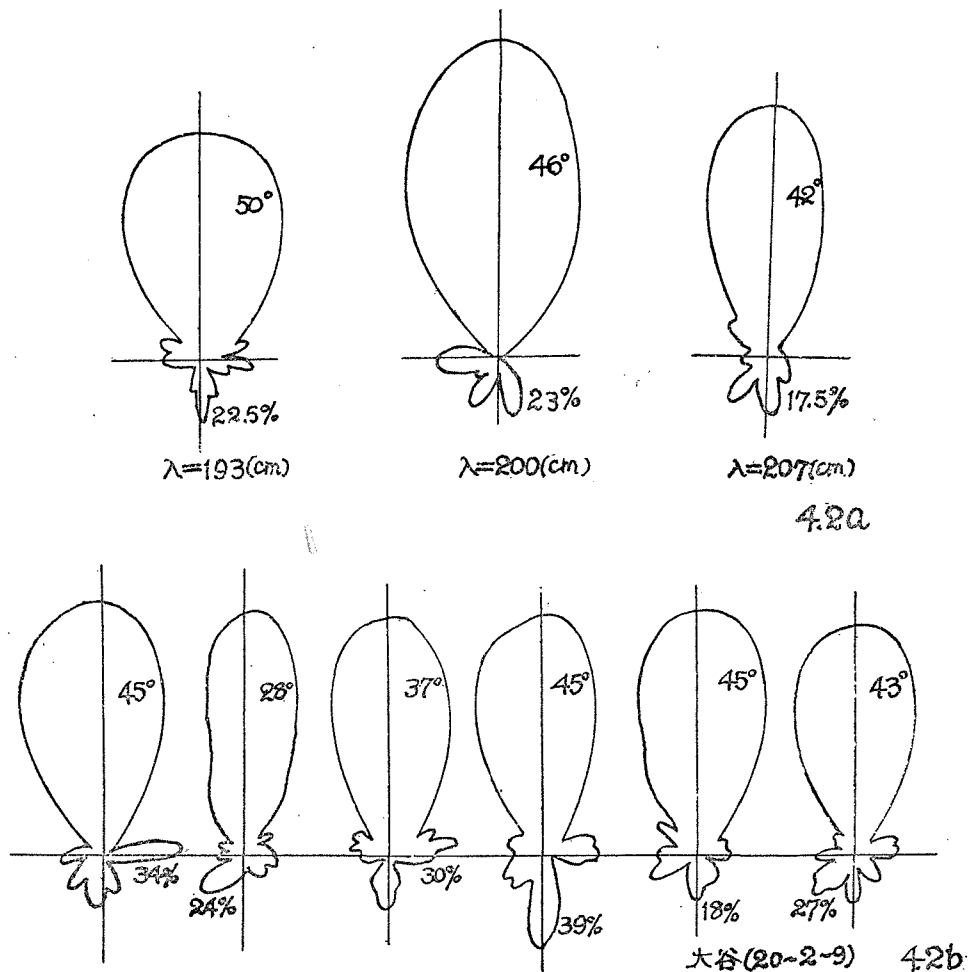
周波数によつて  $D_\phi$  が変わるのは当然であるが簡単な直線素子の空中線を除いては、一般に複雑な構成の空中線に対しては設計は見当つけ程度のものに過ぎないから測定は指定周波数だけでなく、その前後の周波数についても  $D_\phi$  を調べねばならない。特に指定周波数での  $D_\phi$  が予想と著しく違う時は一層広い範囲の周波数について  $D_\phi$  を測る必要がある。

4.2a 図は  $\lambda=200$  (cm) に設計した菱空中線の  $D_\phi$  の周波数特性の一例である。波長によつて主極幅及副極値が著しく変化することに注意せられたい。

一般に主極幅が増す即ビームが鈍になると副極値が減ることと設計波長より長い波長で励振すると主極幅が増し、この反対の時は主極幅が減るのが普通であるが、必ずしもこの原則通りでないものもある。4.2 a 図はこの例である。

### (2) 周囲反射

ある一点の電界の強さは直接波源から来るものと周囲反射によるものとの合成であることは云う迄もない。然るにこの明かなことを軽く見る傾向がないでもない。見渡した処周囲は広く殆んど反射物がない。僅かに遠方に数本の樹がある位だから大したことはあるまいと気を許して測定上の注意を怠ることがあるが、これは間違いである。地表反射も勿論常に忘れてはならない。radar を考えれば数 km の距離でも充分警戒を要すべきことが分るであろう。



4.2 b 図は空中線から 30 (m) 及 70 (m) の処に配電線路がある処で、測定点を空中線の周囲に移動した時の  $D_\phi$  であるが変化が甚しいことが分る。同一空中線で主極幅は  $45^\circ \sim 28^\circ$ 、副極値は  $39 \sim 17.5\%$  と云う違いである。

測定者の人体効果も亦大であるから測定者の位置、姿勢は一定でなければならない。

以上の諸注意を盡く守つて完全な測定を行うことに普通殆んど不可能である。この意味から筆者等の  $D_\phi$  の実験値は正しいものではないと云つても過言ではない。故に  $D_\phi$  の測定は中々難事である。空中線が、ある地勢のある位置にあつて、それによるある点の電界の強さと云う意味では  $D_\phi$  の測定は無意味ではないが、この  $D_\phi$  を無反射空間中の  $D_\phi$  と混同してはならない。

## 結 言

以上対称配置素子で構成し鋭い単指向ビームを発生し得る数種の空中線について、その理論及実験結果の概略を述べた。何れもゴニオメータを使用して回転励振を与えれば対称配置面内では空中線を一周して任意の角速度でビームを移動させることができる。

本文中記載の各種空中線は夫々長所短所があるため最優秀の空中線はどれであるかを直ちに指摘し難いが、筆者の経験範囲では radar 用等としては車又は鼓空中線が良く、特に大電力で鋭いビームを必要とする時は菱空中線が良いように思う。

空中線の主体を固定してビームだけを任意の方向に任意の速度で移動し得ることは無線標識、電視、電波探知、多重通信、高利得通信、秘密通信、無線操縦等と関連して重要なことであるから同好研究諸氏が本問題を大きく採り上げて実用化の完成を促進せられんことを望んで止まない。

27—5—2

### 参 考 文 献

- 1) 伊藤, 新川, 舟橋 : 平面配置対称多相空中線 海技報 2455 (19—2—12)
- 2) 与えられたる任意水平輻射特性を与える多相垂直空中線 海技報 0213 (17—9—23)
- 3) 回転振動空中線 海技報 2464 (15—2—28)
- 4) 星状配置及環状配置多相水平空中線の輻射特性 海技報, 多相研 30 (19—1—7)
- 5) 伊藤, 舟橋 : 多相垂直空中線の輻射特性 海技報 0368 (18—5—7)
- 6) 対称 3 相垂直空中線の水平輻射特性 海技報 2255 (14—5—25)
- 7) 水橋 : 電波の伝導と輻射
- 8) 水橋, 上山 : 輻射方向を  $360^\circ$  回転できる広帯域高利得の円壱形空中線 電通誌 28, 252, 79—94 (19—3)
- 9) 水橋 : 同題 電波日本 38, 12—14 (19—7); 39, 10—13 (19—9)
- 10) 大高, 中屋 : 王冠空中線の 3 相励振による輻射特性 米工研, 海技研 47 (18—5—1)
- 11) 中屋 : 王冠空中線の水平輻射特性 米工研, 海技研 42 (13—3—16), 43 (18—4—8), 53 (18—5—29)
- 12) 縦列王冠空中線の実験 海技報 0469 (19—5—3)
- 13) 2 重王冠空中線の研究 米工研, 海技報 0484 (19—5—26)
- 14) 大谷 : 王冠空中線の実験研究 米工研, 海技研 63 (18—11—8)
- 15) 長井 : 円筒ビーム空中線の水平指向性に関する実験 米工研, 海技研 46 (18—4—26), 58 (18—0), 60 (18—0)
- 16) 大谷 : 静電短絡装置を用いたる王冠空中線のビームの回転について 米工研, 海技研 45 (18—4—15)
- 17) 宇田 : 短波長ビームについて (第 6 報告) 電学誌 396—403 (2—4)
- 18) 竹内, 松岡 : 円型ビーム空中線に関する実験 海技報 (19—10—20)
- 19) 中屋, 大谷, 長谷川, 保科 : 王冠空中線及円環空中線に関する実験結果報告 米工研, 海技研 74 (19—3—10)
- 20) 保科, 小野寺 : 王冠, 円環並に 4 段 2 列空中線の比較実験 米工研 (19—8—1)
- 21) 大高, 大谷 : 交叉王冠空中線の提案並に実験 米工研 (19—8—1)
- 22) 大谷, 平山 : 交叉空中線に関する実験的研究 米工研 (19—11—26)
- 23) 伊藤, 舟橋 : 交叉空中線の水平指向特性について 海技研, 電波 591 (19—10—14)
- 24) 大谷 : 交叉空中線の基礎実験報告 米工研 I (20—2—4), II (0—2—10)
- 25) 大谷, 保科 : 14 号回転指向性空中線の模型空中線に関する実験 米工研 (20—5—25)
- 26) 中屋 : 円環空中線系について 米工研, 海技研 (18—12—23)
- 27) 舟橋 : 多重円環空中線の空間輻射特性 海技研 (19—5—11)
- 28) 伊藤, 新川, 舟橋 : 任意波形回転振動空中線 海技報 (15—7—30)
- 29) 長井 : 車型空中線及蓄電器ゴニオメーターによるビームの回転 米工研 (19—10—2)

- 30) 長井, 月岡 : 車型空中線の円環長変化による利得及指向性 米工研 (19-10-2)
- 31) 2 波長 (4m) 円環空中線の放射状素子の長さの変化と利得及指向性 米工研 (19-11-3)
- 32) 2 波長 (4m) 円環と 1 波長 (2m) 円環との合成について 米工研 (19-11-30)
- 33) 保科, 小野寺 : 鼓型空中線について 米工研 (19-10-1)
- 34) 長井, 保科, 小野寺 : 段積車型空中線について 米工研 (19-11-1)
- 35) 嘉村 : 円環空中線の単相発振器による励振 米工研 (18-12-13)
- 36) 円環空中線による輻射の回転 米工研 (19-10-2)
- 37) 国際通研 : 分円空中線及旭空中線指向の  $\theta = \phi$  による回転の実験 (19-5, 6)
- 38) 大谷, 平山 : 開閉子による指向性回転固定空中線の研究 米工研, 海技報 (19-9-27)
- 39) 大谷 : 静電短絡饋電装置の試作成績 米工研, 海技報 (19-3-10)
- 40) 大高 : 多相電気振動概論 山形大学紀要, 工学 1, 67-114 (25-9)
- 41) 超高周波の研究について 山形大学紀要, 工学 2, 369-400 (26-10)

## ANTENNAS WITH SYMMETRICALLY ARRANGED ELEMENTS

Shoemon OHTAKA

Dept. of Elec. Eng., Faculty of Engineering,

Yamagata University.

This paper explains the antenna which is constructed with symmetrically arranged elements and projects sharp radiation beam. A merit of this antenna is the possibility of shifting the radiation beam in any direction at desired speed by a suitable goniometer, the antenna body being fixed.

The followings are the items of this paper.

### Preface

#### Chapt. 1 Crown Antennas

- 1.1 Crown antenna
- 1.2 Double-crown Antenna

#### Chapt. 2 Sunrise type and other Antennas

- 2.1 Sunrise Antenna
- 2.2 Polygon Antenna

#### 2.3 Diamond Antenna

#### Chapt. 3 Ring type Antennas

- 3.1 Standing Wave Ring Antenna
- 3.2 Travelling Wave Ring Antenna
- 3.3 Divided Ring Antenna
- 3.4 Wheel Antenna
- 3.5 Drum Antenna

#### Chapt. 4 Miscellany

- 4.1 Comparison of various Antennas
- 4.2 Notes on Measurements

#### Conclusion